



古来さまざまな用途に用いられてきた紙は、草や木から作られるセルロース繊維からなる環境に優しい材料である。しかしながら、特に水に弱いという欠点をもつためプラスチックの代用品にはなりにくい。この欠点を補うため、さまざまなコーティング技術が開発されてきたが、従来のコーティング剤には環境に有害な物質が含まれていたり、また、大きな設備投資を含むコストの増大が問題となっていた。超越コーティング技術はゾルゲル法の応用であり、ケイ素の有機物であるメチルトリメトキシシランを主成分とし、少量のチタンテトラプロポキシドなどを反応促進剤として含む低粘性のコーティング液剤を用いる（私はゾルゲル法など使ったこともなく、この手の有機物質名を聞くだけで鳥肌の立つ「無機」人間である）。普通のコピー紙や和紙をコーティング液剤に浸した後に常温で 30 分程度乾燥するだけの簡単な方法によって、紙を構成する複雑に絡み合った、数十ミクロン径のセルロースファイバー表面に、3 ミクロン程度の厚さをもつシリカ層（より正確には、メチル基などの有機基を含むシリコン層）が均一に形成される（図 1）。この反応は図 2 に示すように、紙に吸着された僅かな水や大気中の水蒸気を用いて、チタンテトラプロポキシドの助けにより自発的に素早く進行するため、反応中に紙が劣化することはない。ちなみに通常のゾルゲル法ではケイ素アルコキシドの加水分解反応を促進するため

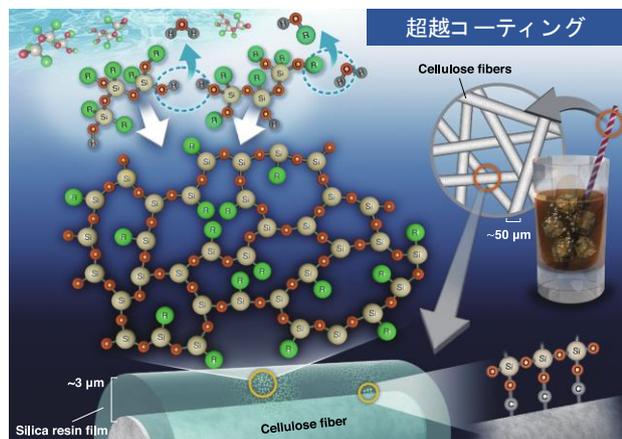


図 2 超越コーティングにより、紙ストローなどを構成するセルロースファイバー上にシリカ皮膜が形成される機構を説明する模式図。最初に、液剤中のメチルトリメトキシシランのオリゴマー（図左上）が紙や大気中に存在する少量の水分子と加水分解反応して  $\text{Si-OH}$  のシラノール基が生成される。次に 2 つのオリゴマーのシラノール基同志が脱水反応によりシロキサン結合を作って繋がる。さらにメチルトリメトキシシラン分子のシラノール基はセルロースファイバー上の水酸基と脱水反応して  $\text{Si-O-C}$  結合によりファイバー表面に固定される（図右下）。生成されたシロキサンネットワークは多くの空隙をもつため柔軟性を有し、そこに残存するメチル基(R)が撥水性をもたらす。

に多量の水と酸または塩基触媒が必要となり、紙のコーティングには使えない。

形成されたシリカ層は強固な  $\text{Si-O-Si}$  のシロキサン結合からなるネットワークを有し、セルロースファイバーに強く化学結合するため紙の機械的強度が増大する。一方、そのシロキサンネットワーク中には比較的大きなナノサイズの隙間が存在するため構造変形が容易に起こり、紙本来の柔軟さは損なわれない。また、シリカ皮膜は無色透明であり（図 3a）、コーティング紙はもとの風合いを保つ（図 3b）。さらに、シロキサンネットワーク中には多くのメチル基が残されるため、コーティング紙は撥水性を獲得する（図 3c）。コーティングされた紙ストローは 3 日間水に浸けても全く形状および強度に変化は見られなかった（図 3d）。本コーティング液剤は環境汚染の原因となる物質を含まず、コーティング紙は廃棄後に自然環境において無害な物質に分解されると予想される。

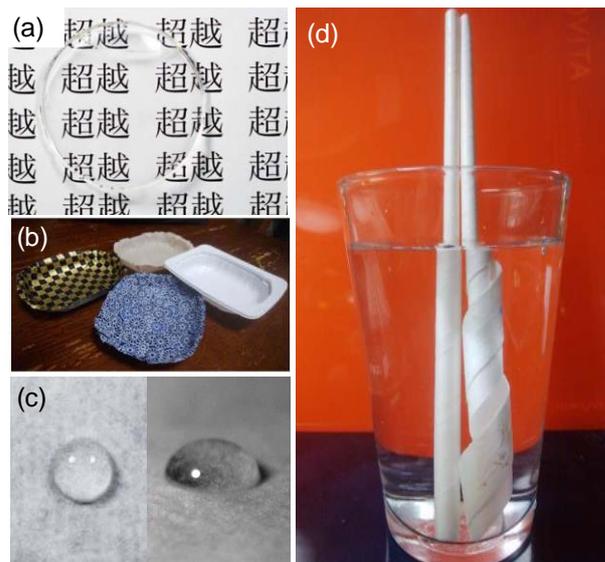


図 3 (a) コーティング液を固化して作製したバルク体。(b) 超越コーティングを施した紙製品。(c) コーティング紙上に滴下された水滴。(d) コーティングあり(左)、なし(右)の紙ストローを水に浸してから 3 日後の様子。

以上のように、超越コーティングは紙素材の環境適合性を損なわずに強度と撥水性などを付与する優れたコーティング技術である。超越コート紙はさまざまな用途においてプラスチック材料を置き換えることができるだろう。生活素材から工業製品、水に強い段ボール紙、焼却可能なマルチシートなどの農業分野、廃棄可能なシャレなどの医療分野を含むさまざまな分野に有用である。また、単純な浸漬法だけでなく簡便な塗布法やプリント技術が使えることから低コストであり、紙素材だけでなく紙製品におい

